

**Tesis Monográfico para Optar al Título de
Ingeniero Eléctrico**

Título

**“Diseño de un Sistema Solar Fotovoltaico de Bajo Consumo Para Uso
Domiciliar en Comunidades Rurales Fuera del Sistema Interconectado
Nacional”.**

Autores:

- Br. Erick Vladimir González Salazar 2007-21424
- Br. Francisco Javier Velásquez Mejía 2008-23643

Tutor:

Ing. Juan González Mena

Managua, Diciembre 2016

ÍNDICE DE CONTENIDO

I. Introducción	3
II. Antecedente	5
III. Objetivos del Estudio.....	7
3.1. Objetivo General	7
3.2 Objetivo Especifico	7
IV. Justificación	8
V. Metodología y alcance del estudio	9
I.1 Técnicas, Equipos y Herramientas empleadas	10
VI. Marco Teórico	12
1.1 La energía Solar	12
1.2 Ventajas y desventajas de la energía solar	12
1.3 Aplicaciones de la energía solar	14
1.4 Radiación solar	14
1.5 Descripción de los sistemas fotovoltaicos.....	15
1.6 Características de los paneles solares	16
1.7 Componentes principales de un sistema fotovoltaico.....	17
1.7.1 Paneles Fotovoltaicos.....	18
1.7.2 Controlador de carga.....	19
1.7.3 Acumuladores o Baterías	19
1.7.4 Limitador de Tensión.....	20
1.7.5 Inversor	20
1.7.6 Protecciones eléctricas (NEMA)	20
1.7.7 Estructuras de soporte	21
1.7.8 La Caja General de Protección	22
1.7.9 Cableado para la conexión de los equipos	22
1.8 Normatividad eléctrica.....	23
1.9 Características del sistema fotovoltaico	23
1.10 Diodos en una Instalación fotovoltaica.....	24
1.11 Protección de sobre corriente y sobre voltaje	26
VII. Instalación de un sistema fotovoltaico	27
VIII. Ubicación de los elementos de un sistema fotovoltaico	28
IX. Interconexiones del sistema fotovoltaicas.....	29

X. Operación del sistema fotovoltaico	31
1.1 Mantenimiento de un sistema fotovoltaico.....	33
1.2 Principales características de los sistemas Fotovoltaicos	35
1.3 Clasificación de las instalaciones Fotovoltaicas	35
XI. Diseño del sistema Fotovoltaico propuesto.....	40
1.1 Dimensionamiento del Sistema	41
XII. Evaluación de costo del proyecto	489
XIII. Conclusiones.....	555
XIV. Bibliografía	566

I. Introducción

Nicaragua es el país de América Central que posee la generación de electricidad más baja en zonas rurales, así como el porcentaje más bajo de población con acceso a la electricidad.

EL SIN (Sistema Interconectado Nacional), cubre más del 90% del territorio donde vive la población del país (las zonas del Pacífico, del centro y del norte completas). Las restantes regiones están cubiertas por sistemas de generación aislados.

Por lo tanto esta es una actividad que en Nicaragua se está consolidando por medio de la implementación del Plan Nacional de Inversiones en energías renovables y la Política General del Subsector Eléctrico.

La cual orienta y facilita el desarrollo sustentable del sector energía, para contribuir al desarrollo nacional en un marco de equidad social, crecimiento económico y preservación del medio ambiente.

El tema de generación de energía solar, es sólo una fracción del complejo problema del consumo energético, en el cual se plantea la búsqueda de soluciones que puedan existir para corregir el consumo de energía eléctrica a base de derivados del petróleo y evitar daños al medio ambiente.

La propuesta de este estudio es diseñar y calcular un sistema de generación basado en el uso e implementación de paneles solares para viviendas rurales, y de esta manera reemplazar la generación de energía a partir de combustibles fósiles como el diésel; minimizando así los impactos ambientales negativos que éstas producen, y disminuyendo los costos de instalación, generación y operación.

Por otra parte, este tipo de tecnología presenta numerosas ventajas: instalación simple, emplea una fuente de energía limpia y gratuita, su operación es automática y silenciosa, requiere poco mantenimiento y es amigable con el ambiente.

Dos ventajas en las instalaciones de generación de energía eléctrica a través de un sistema fotovoltaico es que son autónomos y pueden estar interconectadas a la red de

suministro eléctrico, de donde se deriva una de sus más importantes aplicaciones en la actualidad.

El estudio alcanza desde los antecedentes de los proyectos de energía solar, estudios realizados con anterioridad y resultados obtenidos, así como la realización del diagnóstico energético hasta el diseño del sistema fotovoltaico y los programas de mantenimiento.

II. Antecedente

En el 2011 la unión europea inauguro la IV jornada regional euro solar en Nicaragua la cual consistió en el intercambio de experiencias de los expertos de energía, sobre la ejecución del programa euro solar que se refiere a la instalación de sistemas fotovoltaicos en las comunidades rurales de los países miembros del programa.

En este contexto el gobierno de Nicaragua ha desarrollado programas de generación de energía solar a través de sistemas fotovoltaicos y micro-centrales hidroeléctricas, para llevar la energía eléctrica a las comunidades más apartadas e inaccesibles del país, fuera del SIN.

Resultando con la instalación de 42 sistemas fotovoltaicos, en un número igual de comunidades, que corresponden a los municipios de la Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN) siguientes: Siuna, Rosita, Bonanza, Prinzapolka, Waspam y Puerto Cabezas, a través del cual se proporciona acceso a una fuente de energía renovable a través de sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad a dichas comunidades.

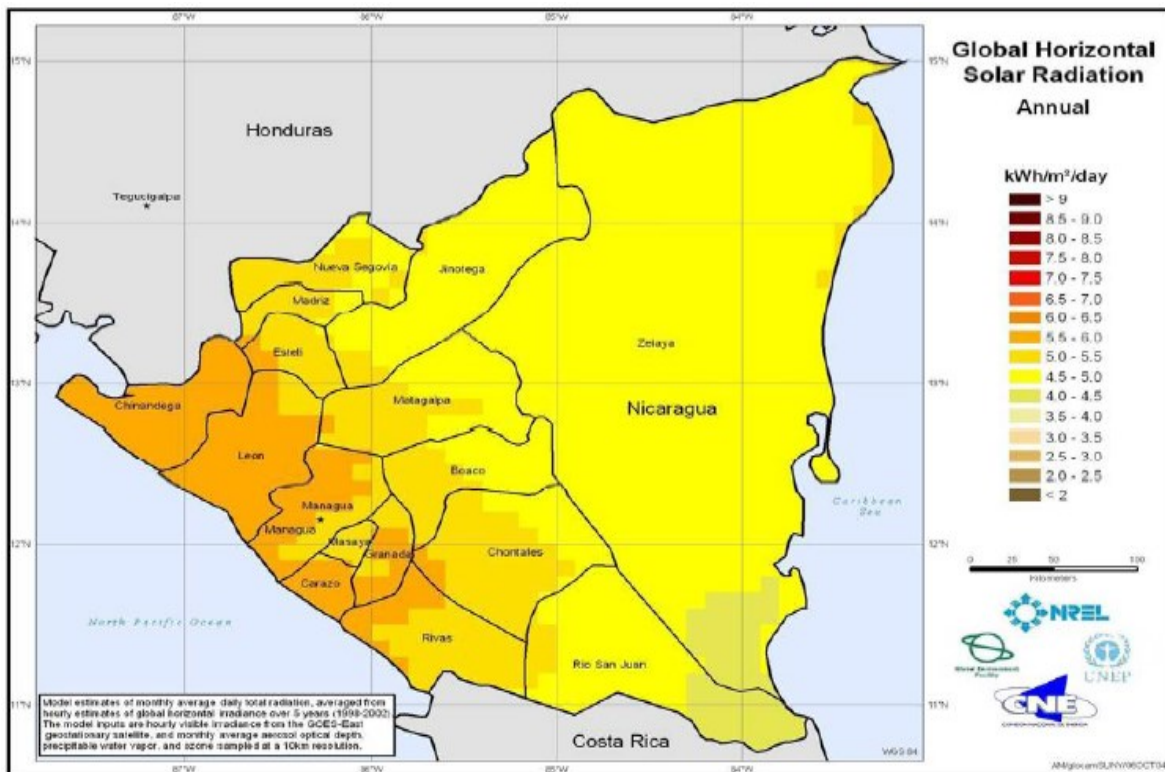
Sin duda, las prácticas de la energía solar fotovoltaica, y la eólica son las que más se emplean en Nicaragua, en comunidades aisladas donde no hay energía eléctrica en los departamentos de Chinandega, Carazo, Boaco, Estelí, Matagalpa y Rivas.

Incluyendo la Isla de Ometepe, en proyectos específicos para bombeo de agua, sistema de riego e iluminación domiciliar, calentamiento de agua para hoteles, para recargar baterías, celulares, refrigeración, secadora solar de frutas, cercos eléctricos solares etc.

Otros Programas que se desarrollan son los siguientes: Fondo de Desarrollo de la Industria Eléctrica Nacional (FODIEN) y el Programa Nacional de Electrificación Sostenible en Energía Renovable (PNESER).

Potencial solar en Nicaragua

Siendo un país tropical ubicado entre los 11 a 14 grados al norte del ecuador, Nicaragua recibe grandes cantidades de energía solar. Si en cada uno de los más de 200,000 hogares que hay en la Costa Pacífica se instalaran 4 m² de paneles solares fotovoltaicos, con una eficiencia de conversión energética de 25%, cada casa produciría unos 5 kWh por día, equivalentes a un total anual de 365 GWh anual, ó 12% de la actual demanda nacional.



(Fuente: SWERA, UNEP)

III. Objetivos del Estudio

3.1. Objetivo General

- Planear el diseño de un sistema fotovoltaico de bajo consumo para uso Domiciliar en comunidades rurales fuera Sistema Interconectado Nacional.

3.2 Objetivo Especifico

- Describir que es un sistema fotovoltaico y sus componentes.
- Aplicar una metodología que nos permita llevar a cabo la propuesta del sistema solar de bajo consumo para uso domiciliar.
- Elaborar un estudio de cálculos para equipos de generación en base a la demanda en Kwh domiciliar.
- Demostrar la viabilidad del sistema fotovoltaico como una opción energética alternativa domiciliar en zonas fuera del SIN.

IV. Justificación

Las ventajas de estos sistemas radican en su simplicidad, ya que por lo general son sistemas simples y modulares, se instalan fácilmente y pueden ampliar el sistema, la reparación y cambio de componentes es fácil y económico y son sistemas adaptables a la mayoría de comunidades y a sus necesidades, siempre y cuando haya luz solar.

Considerando que no se emiten gases que contribuyan al efecto invernadero o humos tóxicos y la energía solo se produce donde es necesario siendo los costos de esta tecnología bajos en relación a tecnologías convencionales. La importancia del estudio se fundamenta en poder analizar la alternativa de generación eléctrica por paneles fotovoltaicos como una oportunidad de uso en domicilios rurales...

La pertinencia de este proyecto, radica en uno de los programas institucionales del Ministerio de energía y Minas (MEM) cuyo principal objetivo es la reducción en el consumo de energía eléctrica, de la red SIN y considerando que la energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedora de energía renovable en el mundo, que además comparada con las fuentes no renovables.

Las ventajas son claras: no contamina, no tiene partes móviles que analizar y no requiere de mucho mantenimiento por lo que la integración de un sistema fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en un hogar tendrá un impacto de gran relevancia en la disminución del consumo de energía eléctrica sin limitaciones en su uso y aplicación, ya que el hogar podrá generar su propia energía eléctrica de una forma segura y económica, lo que le permitirá solventar sus necesidades de consumo con sus propios medios.

Es importante destacar que esta experiencia impactara positivamente tanto en los estudiantes como en los docentes que desearan conocer y adentrarse en los estudios de generación eléctrica por paneles solares. La metodología que se utilizará generará recomendaciones y lecciones aprendidas que pueden tomarse en la implementación de cualquier escenario de instalación eléctrica fotovoltaica.

V. Metodología y alcance del estudio

En esta metodología se hace un análisis de los pasos a realizar en el diseño del sistema fotovoltaico para uso domiciliario, así como los criterios que se tienen que considerar para poder ser aplicados, contemplando las normas de diseño eléctrico y el dimensionamiento del sistema fotovoltaico residencial.


Breve descripción de cómo realizar el diseño del sistema en una zona rural:


1. El diseño del sistema fotovoltaico comienza cuando el ingeniero eléctrico visita el lugar para verificar la cantidad de equipos a suministrar energía.
2. Teniendo en cuenta la ubicación del proyecto es necesario determinar la problemática a resolver y ver cuál es la solución más viable al problema.
3. Desde ahí se comienza a realizar un estudio de capacidad de demanda en kwh de la vivienda.
4. Sería importante tomar en cuenta el consumo promedio en kwh del domicilio.
5. Teniendo esta información se puede empezar a determinar los dimensionamientos de: paneles solares, banco de baterías, sistema de control a utilizar etc.
6. Realizar el plano de la obra en AutoCAD para determinar el mejor diseño a implementar.
7. Elaborar un presupuesto de la obra para determinar la rentabilidad de la misma.

El estudio de campo para el diseño de un sistema fotovoltaico y su requerimiento por parte de una residencia se efectúa con el planteamiento de la metodología descrita anteriormente.

El tipo de estudio es una investigación correlacional porque mide la relación entre dos o más conceptos, situaciones.

Considerando el estudio tipo correlacional el cual tiene como finalidad “evaluar la relación que existe entre dos variables o más y de acuerdo al planteamiento, sin llegar a establecer una hipótesis; se propone de acuerdo a esto una variable independiente; que es la “Energía eléctrica” y una variable dependiente que es: “necesidad de energía eléctrica Fotovoltaica”; lo anterior implica:

X  Variable Independiente = Energía eléctrica

Y  Variable dependiente = Necesidad Energía eléctrica fotovoltaica domiciliar

La relación entre estas dos variables significa la “Causalidad” que produce la variable independiente (X) sobre la variable (Y); es decir; Energía Eléctrica causa la “Necesidad de este servicio en un Domicilio “

I.1 Técnicas, Equipos y Herramientas empleadas

Teniendo en cuenta que para hacer cualquier estudio de investigación existen tres tipos y estas son:

- Conceptos generales sobre investigación
- Investigación documental
- Investigación de campo

De los anteriores en el presente estudio se aplican las dos últimas es decir la investigación documental con la cual se establece el marco contextual, marco teórico y la investigación de campo, entendiéndose ésta como:

“La que se realiza directamente en el medio donde se presenta el problema de estudio”.

Las técnicas para efectuar este tipo de investigación son varias como, la experimentación, levantamiento de datos por medio de cuestionarios, entrevistas y encuestas o por observación controlada.

La técnica empleada para el ensayo que permita el levantamiento de datos con los cuales efectuar los análisis , diseño y dimensionamiento del sistema eléctrico fotovoltaico en un domicilio; es la del cuestionario, con la cual se procede a efectuar el levantamiento de datos directamente del campo y con ellos determinar las tendencias de la variable “dependiente (Y), “ necesidad de energía eléctrica fotovoltaica ” en función de la variable independiente (X), energía eléctrica y “confirmar esta necesidad para plantear una solución, como es la aplicación de la Tecnología de celdas solares y poder electrificar dicha residencia que es la finalidad de este estudio.

Equipo y herramientas empleadas en el ensayo

- Computadora
- Impresora
- Memorias USB
- Software
- Internet
- Libros
- Manuales
- Otros

Recolección de datos en campo

La recolección de datos se efectúa directamente en el domicilio donde se realiza el levantamiento del consumo de carga para dimensionar el sistema.

VI. Marco Teórico

1.1 La energía Solar

La energía solar directa es la energía del sol sin transformar, que calienta e ilumina, es necesario tener sistemas de captación y de almacenamiento para aprovechar la radiación del sol de diferentes maneras.

El sol es la fuente primaria de energía, que puede ser usada directamente, en sistemas pasivos, así llamados porque no utilizan otra fuente de energía, o en sistemas activos, que usan otra fuente de energía, generalmente eléctrica, empleada para mover el fluido calefactor.

La energía solar puede transformarse en eléctrica bien directamente, mediante células fotovoltaicas o bien de forma indirecta a través de sistemas térmicos de concentración utilizados para producir vapor que moverá las turbinas generadoras. La energía solar es la energía obtenida mediante la captación de la luz y el calor emitidos por el Sol.

La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce a través de la absorción de la radiación, por ejemplo en dispositivos ópticos o de otro tipo.

La energía solar es una energía renovable que no contamina conocida como energía limpia o energía verde.

1.2 Ventajas y desventajas de la energía solar

La energía solar fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de las energías renovables en el mundo. Comparada con las fuentes no renovables, las ventajas son claras: es no contaminante, no tiene partes móviles que analizar y no requiere mucho mantenimiento. No requiere de una extensa instalación para operar.

Los generadores de energía pueden ser instalados de una forma distribuida en la cual los edificios ya contruidos, pueden generar su propia energía de forma segura y silenciosa.

Energía Solar	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Fuente inagotable de energía. • Escaso impacto ambiental. • No produce residuos perjudiciales para el medio ambiente. • Distribuida por todo el mundo. • No tiene más costos una vez instalados. • No hay dependencia de las compañías suministradoras. • Silenciosa • Tiene una vida útil superior a 25 años. • Resistente a condiciones climáticas extremas: granizo, viento, etc. • No requiere mantenimiento complejo, solo limpieza del módulo solar. • Se puede aumentar la capacidad instalada y la autonomía de la instalación. • No consume combustible.
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Se precisan sistemas de acumulación (baterías) que contienen agentes químicos peligrosos. • Puede afectar a los ecosistemas por la extensión ocupada por los paneles en caso de grandes instalaciones. • Impacto visual negativo si no se cuida la integración de los modelos solares en el entorno.

Fuente: Jiménez C. B. E., (2002). *La contaminación ambiental en México*. Editorial Limusa.

1.3 Aplicaciones de la energía solar

Generalmente es utilizada en zonas excluidas de la red de distribución eléctrica o de difícil acceso a ella, pudiendo trabajar de forma independiente o combinada con sistemas de generación eléctrica convencional.

Sus principales aplicaciones son la electrificación de sistemas de bombas de agua, repetidores de TV y telefonía, la electrificación de edificaciones aisladas: alumbrado, pequeños electrodomésticos, pequeños consumos no destinados o calentamientos, alumbrado público aislado, asimismo en las conexión a la red eléctrica de pequeñas centrales eléctricas que permiten disminuir las pérdidas en la red.

Esta solución es la que está generando actualmente el mayor desarrollo de esta energía, ya que se vende a la red.

1.4 Radiación solar

El sol es una estrella en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del sol se transmite al exterior mediante la denominada radiación solar.

La intensidad de la radiación solar que llega a la parte exterior de la atmósfera depende de la distancia entre la tierra y el sol. Esa distancia no es constante, sino que el curso de la órbita de nuestro planeta describe una trayectoria elíptica y que su longitud varía entre 1.47×10^8 y 1.52×10^8 kilómetros.

De aquí se puede afirmar que el valor de la irradiancia fluctúa entre 1.325 W/m² y 1.412 W/m², el valor medio (1.353 W/m²) de dicha irradiancia se le conoce como constante solar (Perales, 2008).

1.5 Descripción de los sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica.

Estos sistemas independientemente de su utilización y del tamaño de potencia, pueden realizarse instalaciones de electrificación autónoma o interconectados a la red, además de otras aplicaciones más específicas (Casas 2012).

Para el caso de las instalaciones de electrificación autónoma, estas instalaciones tienen una total autonomía energética y se construyen especialmente en lugares en que, por motivos económicos, técnicos y medioambientales, no es posible hacer llegar la red de distribución eléctrica (casas rurales aisladas, sistema de señalización).

Asimismo para las instalaciones interconectadas a la red eléctrica, distinguimos dos tipos de instalaciones, aquellas que aprovechan la energía producida por el propio edificio e inyectan la sobrante a la red de distribución eléctrica y los que inyectan directamente toda la producción de energía eléctrica a la red de distribución general y se aprovechan de ella para su propio consumo.

1.6 Características de los paneles solares

Los paneles fotovoltaicos se definen con un conjunto de parámetros expresados en las condiciones denominadas NOCT (temperatura de operación nominal de la célula) o por las condiciones STC (Condición de Prueba Estándar), cuyos valores característicos son los siguientes:

Condiciones	NOCT	STC
Irradiación	800 W/m ²	1000 W/ m ²
Distribución espectral	AM 1,5	
Temperatura	20°C	25°C
Velocidad del viento	1 m/s	

Tabla: Condiciones de operación de los módulos fotovoltaicos

Los datos expresados en STC se consideran de ensayo y los datos NOCT son típicos de operación. Respecto de los parámetros eléctricos que definen los paneles o en módulos fotovoltaicos, los fundamentales son los siguientes:

- Potencia Máxima nominal (P_m)
- Voltaje máxima Potencia (VMP).
- Corriente de máxima potencia (IMP)
- Voltaje a circuito abierto (VOC)
- Corriente de cortocircuito (ISC)
- Potencia pico
- Factor de forma (FF)
- Coeficiente de temperatura de ISC
- Coeficiente de temperatura de VCO
- Coeficiente de la temperatura de la potencia

Definir un determinado panel por los parámetros dados en las condiciones de operación NOCT o de ensayo STC, es de considerar la posible alteración de sus valores ante diferentes condiciones de irradiación, distribución espectral o temperatura ambiente, lo que es imprescindible para aproximar los cálculos de dimensionado a las condiciones reales del lugar en el que se ubican los paneles fotovoltaicos.

1.7 Componentes principales de un sistema fotovoltaico

Consta principalmente de los siguientes elementos:

- Paneles Fotovoltaico
- Estructura y cimientos del arreglo
- Reguladores de voltaje
- Controlador de carga de batería
- Inversor de corriente cd/ca o un rectificador ca/cd
- Baterías de almacenamiento eléctrico y recinto para ellas
- Instrumentos
- Cableado para la conexión de los equipos
- La Caja General de Protección
- Protecciones eléctricas (NEMA)
- Estructuras de soporte

Un sistema fotovoltaico no siempre consta de la totalidad de los elementos arriba mencionados. Puede prescindir de uno o más de éstos, dependiendo del tipo y tamaño de las cargas a alimentar, el tiempo, hora y época de operación y la naturaleza de los recursos energéticos disponibles en el lugar de instalación

Los componentes de un sistema fotovoltaico dependen del tipo de aplicación que se considere y de las características de la instalación. Para el caso de un sistema autónomo, los componentes necesarios para que funcione correctamente y tenga una elevada fiabilidad son:

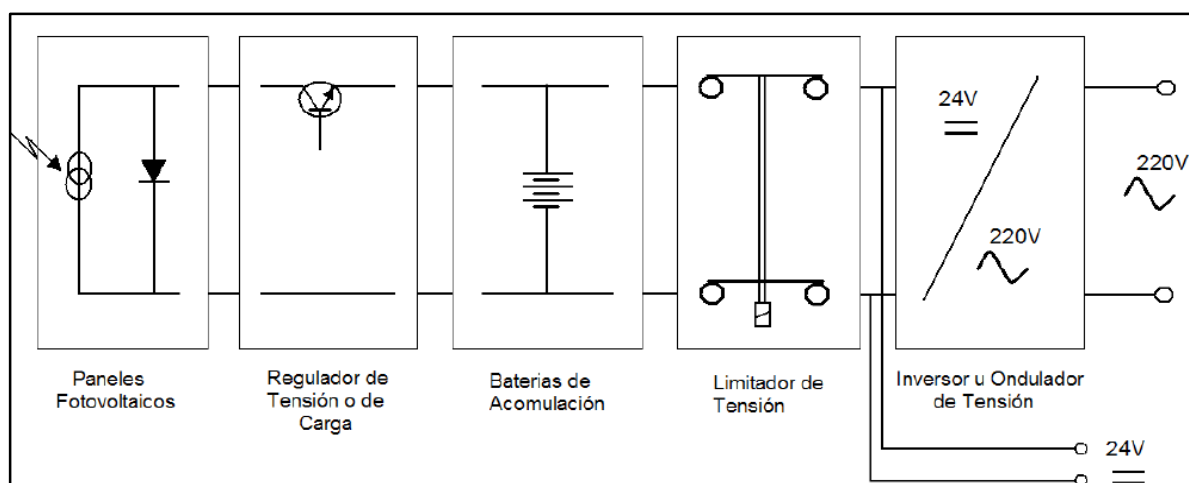


Figura 1: Diagrama eléctrico de una instalación Fotovoltaica

1.7.1 Paneles Fotovoltaicos

El conjunto de paneles fotovoltaicos que puedan captar el sol es parte de la instalación a la que se le llama generador. Son un conjunto de placas fabricadas a partir del silicio, que captan la radiación luminosa procedente del sol y la transforman en corriente continua, a baja tensión (12 ó 24 V) especificadas por el fabricante.

Para su mejor aprovechamiento se busca orientarlas (teniendo en cuenta la ubicación y latitud) con el fin de obtener un mayor rendimiento.

1.7.2 Controlador de carga

Es aquel que tiene la función de proteger a la batería contra las sobrecargas y contra las descargas, excesivas al acumulador que le pudieran producir daños irreversibles asegurando que el sistema trabaje con mayor eficiencia. Además se emplea para proteger a las cargas en condiciones extremas de operación.

Los paneles fotovoltaicos pueden producir más electricidad de la que las baterías pueden almacenar, sobrecargar las baterías aumenta la pérdida del electrolito, disminuyendo así la vida útil de las baterías además de que es peligroso.

Funcionamiento del controlador de carga

Los reguladores de carga son de dos tipos serie o shunt. Ambos reguladores tienen un circuito de censer y regula la corriente hacia la batería cuando la tensión excede un umbral determinado.

Los reguladores en serie desconectan la batería de los módulos si la tensión se eleva por encima del umbral. Cuando la batería se descarga el regulador conecta nuevamente los módulos. Estos reguladores son simples pero tiene el problema que no toda la energía generada es empleada.

Los reguladores shunt funcionan desviando la potencia hacia otra carga, Si la carga es una simple resistencia, estos reguladores disipan la energía lo cual es mejor que sobrecargar la batería o destruir la electrónica. Pero es también posible emplear esta energía excedente en otros usos.

1.7.3 Acumuladores o Baterías

Son el almacén de la energía eléctrica generada, permitiendo disponer de la energía eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados.

En este tipo de aplicaciones normalmente se utilizan baterías estacionarias, las que tienen como característica de operación más importante al ciclado; durante un ciclo diario, la batería se carga durante el día y se descarga durante la noche; sobrepuesto al ciclado diario hay un ciclo estacional, que está asociado a períodos de reducida disponibilidad de radiación.

1.7.4 Limitador de Tensión

Es aquel dispositivo que tiene la función es de evitar que las baterías se descarguen por debajo de ciertos niveles. Para ello hay que tener en cuenta el factor de fondo de las baterías empleadas. Para baterías estacionarias de plomo – ácido el mínimo de carga permisible es de un 20% sobre su capacidad nominal.

1.7.5 Inversor

Dispositivo electrónico que tiene la función de transformar la corriente continua (de 12, 24 o 48 V) generada por las placas fotovoltaicas y es acumulada en las baterías para que después sea entregada, en corriente alterna (127 V y 60 Hz) a los aparatos eléctricos que la necesitan.

1.7.6 Protecciones eléctricas (NEMA)

Durante su funcionamiento toda instalación eléctrica puede presentar dos estados operativos, el primero le llamamos estado de operación normal, y se presenta cuando todos los parámetros de la instalación (voltaje, amperaje, frecuencia, temperatura de los conductores, etc.).

Están dentro de los parámetros previstos; el segundo le llamamos estado de operación anormal y es cuando uno o más parámetros de la instalación eléctrica exceden las condiciones previstas.

Cuando el estado de operación de nuestra instalación eléctrica es anormal, existen distintos tipos de fallas como pueden ser: la sobrecarga, las fallas de aislamiento, un cortocircuito, dependiendo el servicio para el cual fue diseñado.

Cualquier instalación eléctrica por norma, debe estar provista de protecciones, cuyo objetivo es reducir al máximo los efectos producidos por las fallas mencionadas anteriormente, para esto las protecciones deben estar dimensionadas adecuadamente según las características del circuito.

Las protecciones eléctricas más comúnmente utilizadas son:

- Los fusibles
- Los disyuntores termomagnéticos

1.7.7 Estructuras de soporte

Las estructuras soporte de los paneles fotovoltaicos son un componente que debe ser elegido con criterios de seguridad y de cumplimiento con la normativa sobre este tipo de instalaciones.

Es de considerar especialmente el parámetro de resistencia del soporte, ya que debe mantenerse estable entre vientos fuertes y soportar el sobrepeso que puede provocar la caída de nieve sobre paneles fotovoltaicos.

El número de puntos de sujeción para módulos fotovoltaicos debe ser el suficiente para asegurar su instalación sin que se produzca flexiones en los módulos de valor superior

a las especificadas por el fabricante. Así mismo permitirá fijar el ángulo de inclinación que corresponda de un modo seguro y sin alteraciones ante vientos.

1.7.8 La Caja General de Protección

La caja general de protección es la encargada de salvaguardar toda la instalación eléctrica de un posible cortocircuito o punta de intensidad la cual afectaría a todos los componentes conectados a la red. Esta caja general de protección podrá llevar tanto protecciones térmicas como fusibles.

1.7.9 Cableado para la conexión de los equipos

Es el encargado de conectar los distintos paneles solares con las cajas de interconexión y con el resto de los equipos e instrumentos.

Este cableado de paneles se realizará con materiales de alta calidad para que se asegure la durabilidad y la fiabilidad del sistema a la intemperie. El cableado y las conexiones entre los equipos tendrán que tener el grado de protección NEMA 3.

Entre las conexiones eléctricas entre paneles usaremos siempre terminales. Los terminales de los paneles pueden ser bornes en la parte de detrás del panel o estar situados en una caja de terminales a la caja espalda del mismo.

En el primer caso tendremos capuchones de goma para la protección de los terminales contra los agentes atmosféricos. En instalaciones donde se monten paneles en serie y la tensión sea igual o mayor a 24 V instalaremos diodos en derivación.

1.8 Normatividad eléctrica

Hay normativa nicaragüense para la realización de instalaciones eléctricas en viviendas y edificios públicos. Para el caso de instalaciones de arreglos fotovoltaicos, la distribuidora tiene reglamentos relativos para su instalación, protección y mantenimiento.

Para una instalación eléctrica de vivienda general, se debe de atender el código de Instalaciones eléctricas nicaragüense. Además Disnorte-Dissur recomienda las siguientes normas para el caso de instalaciones fotovoltaicas: Sistema de energía fotovoltaica y el Código Eléctrico Nacional (NEC).

1.9 Características del sistema fotovoltaico

Parámetros de las cargas:

- Potencia instalada P_I
- Capacidad instalada del sistema CIS
- Carga máxima D_M
- Número de horas de carga equivalente (EH)
- Curva de carga diaria
- Carga promedio D_P

Indicadores de la carga eléctrica del sistema:

- Factor de demanda FD
- Factor de utilización FU
- Factor de planta F_{PL}
- Factor de carga F_C

1.10 Diodos en una Instalación fotovoltaica

Los diodos son componentes electrónicos que permiten el flujo de corriente en una única dirección. En los sistemas fotovoltaicos generalmente se utilizan de dos formas: como diodos de bloqueo y como diodos de bypass.

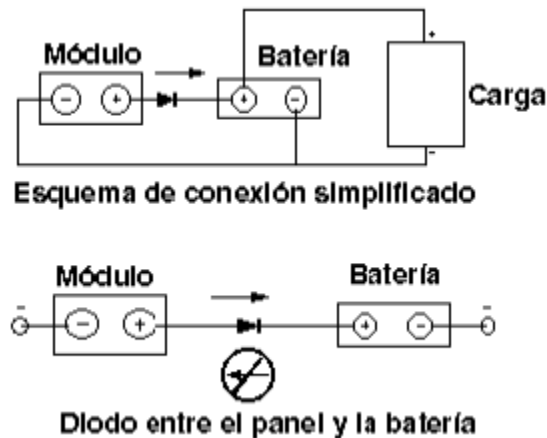


Figura: Esquema de conexión de Diodos

a) Diodos de bloqueo

Son aquellos que impiden que la batería se descargue a través de los paneles fotovoltaicos en ausencia de luz solar.

Evitan también que el flujo de corriente se invierta entre bloques de paneles conectados en paralelo, cuando en uno o más de ellos se produce una sombra.

Además del diodo de paso se utiliza un diodo en serie con los terminales del sistema, para impedir que la celda durante la noche descargue la batería.

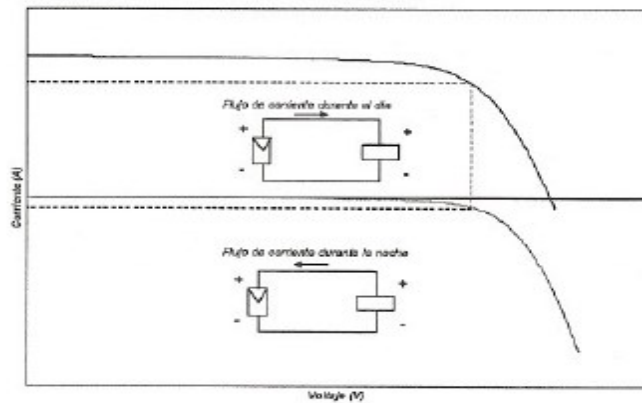


Figura: Diodos de Bloqueo

b) Diodos de bloqueo en grupos en paralelo

La misma idea de bloquear la corriente al panel completo se puede usar para bloquear grupos grandes que podrían absorber corriente de los otros grupos cuando se conectan en paralelo.

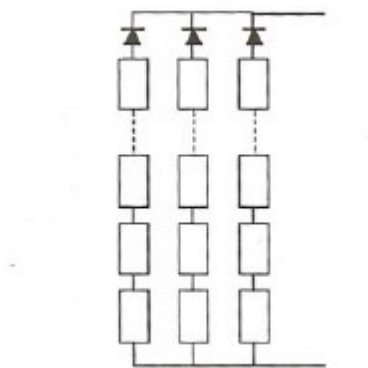


Figura: Diagrama de diodos de bloqueo en paralelos

1.11 Protección de sobre corriente y sobre voltaje

Par evitar que una corriente excesiva dañe los cables y el resto de los componentes se deben instalar fusibles.

Además se contará con un interruptor que desconectara las celdas, para proteger el personal de excesivo voltaje cuando se requiera mantenimiento.

a) Conexión a tierra

- Toda parte metálica que pueda ser tocada por el personal técnico o usuario debe ser conectada a tierra.
- Se pueden usar dispositivos como varistores para prevenir que un voltaje más alto del esperado aparezca en el bus C.D. que hay en el panel.

b) Cableado

- El cable que se utiliza para interconectar celdas debe ser resistente a la luz solar.
- Los cables que bajan hacia las baterías deben estar cubiertos para la intemperie y deben ser de aislante de incombustible.
- Deben ser resistente a la corrosión y humedad.
- En caso de enterramiento deben estar a 41cm de profundidad.
- La caída de voltaje entre las celdas y el resto de los componentes del sistema debe ser menor de 1% del voltaje total

VII. Instalación de un sistema fotovoltaico

Las celdas fotovoltaicas deberán ser colocadas sobre el panel de montaje en una configuración rectangular simple.

En el hemisferio norte, los paneles se montan orientados hacia el sur geográfico con una inclinación con respecto al horizonte, que corresponde al ángulo indicado para obtener la máxima ganancia durante el invierno.

Los paneles pueden montarse sobre el techo de una casa o sobre cualquier estructura adecuada. El lugar que se escoja, debe estar libre de cualquier sombra por pequeña que esta sea. Esto disminuiría ostentosamente el rendimiento del panel. Como regla general, se orientan los paneles de manera tal que la superficie colectora se encuentre perpendicular al sol del mediodía para el mes en el cual se desea la máxima ganancia.

Los paneles deben montarse con una distancia mínima de cualquier superficie, de aproximadamente 5 cm. para permitir la adecuada circulación del aire por su lado inferior, lo que evitará que se caliente en exceso y esto disminuya su rendimiento.

Para que un sistema fotovoltaico realmente pueda prestar un servicio confiable durante toda su vida útil, es necesario darle una gran importancia al correcto montaje del sistema. Cualquier defecto puede inducir a una reducción ostensible de su eficiencia y de su vida útil, que normalmente debiera ser de entre 20 y 30 años.

VIII. Ubicación de los elementos de un sistema fotovoltaico

a) El módulo

Localice un sitio despejado que esté libre de objetos o árboles que puedan provocar sombras, lo más cerca al lugar donde desean instalar su sistema (lámparas o aparatos), puede ser sobre un poste metálico o de madera o sobre el techo de la casa, si éste lo permite.

b) Soporte de módulos

Su función es la de sujetar al módulo, colocando el módulo orientado hacia el sur, esto permite que los rayos del sol choquen sobre la superficie del módulo la mayor parte del día, y se obtiene así la mayor generación de energía del módulo fotovoltaico.

c) El controlador

El controlador debe estar colocado en un lugar protegido de la intemperie (de preferencia dentro de la casa), procure que la distancia entre éste y el módulo sea menor de 5 metros y la distancia entre el controlador y el acumulador sea menor de 1.5m (para el tendido del cable), de esta forma se minimizara las pérdidas de energía en el cable haciendo más confiable y eficiente su sistema.

d) El acumulador

Busque un lugar protegido de la intemperie (puede ser dentro de la casa), con buena ventilación, para evitar la acumulación de gases generados por el acumulador. Coloque la batería de preferencia sobre una tarima de madera, protéjala de los niños tome en cuenta las limitantes de distancia en el cable mencionadas en el controlador. Nunca coloque el acumulador directamente sobre el piso.

e) Lámparas

Distribuya uniformemente las lámparas así como sus respectivos interruptores, en el lugar donde las desea instalar, de tal manera que obtenga la mayor iluminación, procure que el tendido del cable del controlador a cada una de las lámparas sea de al menos 8 metros. Fíjelas en los lugares elegidos.

IX. Interconexiones del sistema fotovoltaicas

Después de haber definido la ubicación de cada una de las partes del sistema es hora de realizar las interconexiones de acuerdo de la siguiente secuencia.

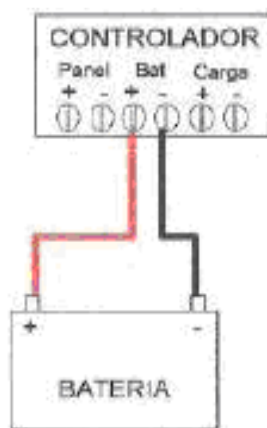


Figura: Conexiones de la batería con el controlador

- Tienda un par de cables (cordón uso rudo calibre 2 X 10) desde el controlador hacia la batería.

-
- Tienda un par de cables (cordón uso rudo 2 X 10) desde el controlador hacia el módulo.
 - Tienda el cable POT calibre 12 desde el controlador hacia la ubicación de cada una de las lámparas.
 - Tienda cable POT calibre 12 desde cada una de las lámparas hacia donde estarán instalados sus respectivos interruptores.
 - Identifique las terminales positiva (+) y la negativa de la batería en el bloque de terminales del controlador (BAT+, BAT-). Utilizando el cable tendido de batería a controlador tome el color negro y conéctelo en la terminal BAT-, tome el rojo conéctelo en la terminal BAT+.
 - Tome los extremos del cable que van a la batería y conecte el color negro a la terminal negativa de la batería, haga lo mismo con el cable rojo en la terminal positiva de la batería.
 - En este momento el controlador se activa, iluminando sus leds y mostrando el Estado de operación del sistema.
 - Identifique las terminales positiva (+) y negativa (-) del panel en el bloque de terminales del controlador (panel+, panel-). Utilizando el cable tendido de modulo a controlador, tome el color negro y conéctelo a la terminal panel -, tome el rojo y conéctelo en la terminal panel+.
 - Haga lo mismo que en el punto 6 en las terminales del módulo fotovoltaico.
 - Hecho ésto, el controlador detectara actividad solar (si es de día y está soleado) para el módulo y conectará el circuito de recarga al acumulador.

-
- Identifique la línea corrugada como positiva y la línea lisa como negativa del cable POT calibre 12, tendido de lámpara a interruptor. Conecte un cable en ambas terminales del interruptor. Repita el proceso en cada uno de los interruptores.
 - Del extremo del cable que va del interruptor a lámpara conecte la línea lisa a la terminal positiva de lámpara y la línea corrugada del cable procedente del controlador a la alampara, el cable negativo de lámpara conéctelo a la línea corrugada del cable procedente del controlador a lámpara. Repita el proceso en cada uno de los interruptores.
 - Asegúrese que los interruptores de las lámparas estén en estado de apagado.
 - Conecte los cables de las lámparas a las terminales de la carga (+) y carga (-) de controlador en el siguiente orden. La línea lisa negativa (-) conéctela a la terminal de carga – del controlador, haga lo mismo con la línea corrugada de lámpara en la terminal + del controlador
 - Pruebe con el interruptor que cada una de las lámparas enciendan.

X. Operación del sistema fotovoltaico

a) Operación Diurna

Durante el día el módulo fotovoltaico genera energía eléctrica, la cual es conducida hacia el acumulador y éste a su vez alimenta las cargas (lámparas), el conductor maneja toda la operación.

Mediante sus leds indicadores muestra el voltaje de batería, panel conectado y disponibilidad de carga.

b) Operación nocturna

Durante la noche el controlador detecta que no existe generación del módulo fotovoltaico y abre el circuito Panel – Batería, con esto se elimina un posible regreso de energía. Normalmente durante la noche el controlador monitorea el voltaje de la batería tomando la acción que se requiera.

c) Corte por alto voltaje

El controlador tiene preestablecido un voltaje de máxima carga en la batería, cuando esta llega al voltaje máximo (14.7Volts), el controlador censa y desconecta el circuito Panel – Batería.

Después de un tiempo el voltaje de la batería tiende a disminuir cuando este voltaje es igual al de conexión de recarga (13.5Volts) el controlador vuelve a cerrar el circuito Panel – Batería este proceso suele repetirse varias veces durante días soleados. En este estado siempre existe disponibilidad de energía para las aplicaciones.

d) Corte por bajo voltaje

Normalmente ocurre cuando se presentan varios días nublados continuos. Las aplicaciones siguen activas, el módulo fotovoltaico no es capaz de generar energía suficiente, y el voltaje de la batería tiende a disminuir, cuando éste llega al voltaje mínimo (10.5Volts) preestablecidos en el controlador, se abre el circuito Batería – Carga, desactivando todos los aparatos que en ese momento se encuentran conectados.

Con esto se evitan daños irreversibles a la batería. Cuando se vuelve a tener un día soleado el voltaje en la batería se recupera hasta llegar al voltaje de reconexión de

carga (13.2Volts), en este estado nuevamente se cuenta con energía disponible para las aplicaciones.

e) Problemas y soluciones de un sistema fotovoltaico

Verifique los leds de voltaje en el controlador, muestran un voltaje menor 13 volts

SI: Tal vez la batería solo requiera recarga, permita que el módulo lo provea.

1.1 Mantenimiento de un sistema fotovoltaico

Es recomendable hacer por lo menos 3 revisiones periódicas en un sistema fotovoltaico por año, así se pueden detectar y corregir pequeños problemas, antes que lleven a una falla total en la operación del sistema, por esto se dice que el mantenimiento preventivo es el mejor mantenimiento.

Es indispensable revisar el sistema cuando está funcionando correctamente y no esperar a que la falla ocurra, es importante aprender del equipo y saber que se espera de él cuando está funcionando correctamente, de hecho se puede hacer la mayor parte de la revisión, con un multímetro y algo de sentido común.

Muchas fallas son evitables si se hacen inspecciones y se toman acciones correctivas antes que el problema cause fallas en la operación del sistema. Esto es más fácil aun siguiendo la rutina básica:

- Revise las conexiones del sistema, las conexiones de las baterías puede limpiarse y tratarse periódicamente, con anticorrosivos de uso común en la industria de autopartes.
- Examine el nivel de densidad específica del electrolito (ácido) en la batería que esté de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, este chequeo debe

hacerse después de una recarga completa al banco de baterías, con el nivel de electrolito de acuerdo a las especificaciones por el proveedor.

- Tome muestras del voltaje de cada batería cuando éstas estén bajo carga, si el voltaje de alguna difiere más de un 10% del promedio de los voltajes de las demás, indica que existe un problema con esa batería. Consulte al fabricante o a su distribuidor más cercano.
- Haga un reconocimiento en el sistema de cableado, si el cableado ha estado expuesto al sol o a la corrosión durante algún tiempo, es posible que se puedan formar grietas en la cubierta de éste, esto provocará pérdidas de energía. Aísle lo mejor posible todos los conductores de energía para evitar este tipo de fallas.
- Registre que todas las cajas de conexiones estén correctamente selladas, incluyendo las del panel, controladores, etc., puntos de interconexiones, así mismo cerciórese si existe corrosión o daños causados por el agua. Si tienen componentes electrónicos montados dentro de un gabinete asegúrese que tengan buena ventilación.
- Inspeccione las piezas de la estructura soportante de los módulos. Al mover suavemente algún módulo del arreglo, vea si existe alguna pieza floja o suelta que pueda causar problemas.
- Revise la operación de los interruptores y fusibles, asegúrese que el movimiento del interruptor sea sólido, vea si existe corrosión tanto en los contactos como en los fusibles.

1.2 Principales características de los sistemas Fotovoltaicos

- Simplicidad
- Son livianos y pequeños. Sus dimensiones son muy reducidas y se pueden instalar fácilmente sobre el tejado de las viviendas, entre otros lugares.
- Eficiencia
- Ausencia de partes móviles (es por esto y por el hecho de que se limpian por la lluvia que...).
- No exigen mantenimiento.
- Si aumentan las exigencias de consumo, basta con aumentar el número de paneles sin necesidad de intervención de especialistas.
- Inalterables al paso del tiempo

1.3 Clasificación de las instalaciones Fotovoltaicas

Las instalaciones fotovoltaicas se dividen en dos grandes grupos en función del objetivo de la mismas: instalaciones aisladas de la red, cuya finalidad es satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica convencional residencial o de una comunidad, y las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, que tienen como objetivo fundamental entregar la energía a la red eléctrica pública; ésta última, de gran superficie, se está utilizando como superficie de terminación e imagen en el edificio.

➤ Instalaciones aisladas de la red

Se emplean en localidades lejanas, que no tienen acceso a la red pública: instalaciones rurales, iluminación de áreas aisladas, telecomunicaciones, balizas o boyas de

señalización y bombeo de agua. Estas instalaciones posibilitan dos tipos de suministros según sea el tipo de distribución

➤ **Sistemas fotovoltaicos interconectados con la red**

Un sistema fotovoltaico interconectado con la red es aquel que opera en paralelo con ella. Normalmente existe una carga local que puede recibir energía de la red y del sistema FV o de uno solo de ellos, dependiendo de los valores instantáneos de carga y generación fotovoltaica. Una instalación de este tipo también se puede denominar sistema fotovoltaico interactivo con la red o sistema fotovoltaico conectado en paralelo con la red.

➤ **Aplicaciones de los sistemas fotovoltaicos interconectados**

Las aplicaciones actuales de los sistemas FV interconectados con la red eléctrica se pueden agrupar en cuatro áreas: sistemas residenciales, estaciones centrales, estaciones de apoyo a la red y sistemas integrados en edificios.

➤ **Sistemas residenciales**

En el contexto de la búsqueda de fuentes alternas de energía en países industrializados, se ha estudiado la viabilidad técnica y económica de aplicaciones fotovoltaicas terrestres.

En muchos de estos países, el nivel de electrificación es cercano al 100%, por lo que los sistemas autónomos (no conectados a la red) tienen poca aplicación.

Por otra parte, la tierra disponible es escasa y costosa. Estos dos factores llevaron al desarrollo del concepto de sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica instalados en techos de casas habitación, así como en techos y fachadas de edificios.

Este tipo de instalaciones ha tenido gran auge desde finales de la década pasada en Europa y Japón y, en menor escala, en Estados Unidos.

Estos sistemas no forman parte del esquema convencional de generación centralizada. Son generadores dispersos de pequeña capacidad (1-10 kW) instalados en inmuebles residenciales, comerciales o institucionales.

La interconexión puede ser monofásica o trifásica y se realiza con el sistema de distribución, normalmente, en el punto de la acometida eléctrica.

Condiciones que tiene satisfacer las una célula solar

- El rendimiento de conversión energética tiene que ser lo más elevado posible, es decir que es necesario que la célula pueda generar una densidad de corriente de corto circuito y un voltaje de circuito abierto elevados y al mismo tiempo con un factor lo más próximo posible a la unidad.
- La célula tiene que poder suministrar una potencia suficiente a una carga.
- Las resistencias en serie de la propia célula deben tener un valor débil para que la caída de potencial que significan, represente una pequeña parte del potencial salida.
- La absorción óptica del semiconductor tiene que ser suficiente en la mayor parte posible del espectro solar. Así se considera que un buen coeficiente de absorción tiene que ser 10^4cm^{-1} en la región del espectro visible.
- Los electrodos de cada cara del semiconductor de las células tienen que captar eficazmente los electrones y los huecos fotocreados.

La longitud de difusión de los portadores minoritarios tiene que ser del mismo orden que el espesor de la película.

Causas Principales de las Pérdidas de Potencia

Entre las principales causas de que los rendimientos de conversión tengan valores no superiores al 15% en la práctica, cabe citar las siguientes:

- Reflexión en la cara anterior de la célula solar. Para una célula de silicio desnuda es del 30% por lo que normalmente se la recubre de una capa antirreflejante que disminuye “r” en un factor 10.
- Diferencia entre el rectángulo sombreado de potencia útil y el área total del 4º Cuadrante.
- Pérdidas en las resistencias parasitas serie y paralelo debidas a la fabricación y la especial geometría del dispositivo.
- Recombinación de portadores en el volumen semiconductor en las zonas “n” y “p” en el interior de la zona de transición, en la superficie y en el contacto óhmico de la cara no iluminada.
- Fotones no absorbidos y energía de los fotones por encima de E_g que no se traduce en potencia útil en la carga.

Los efectos de la energía solar fotovoltaica sobre los principales factores ambientales son los siguientes:

Clima:

La generación de energía eléctrica directamente a partir de la luz solar no requiere ningún tipo de combustión, por lo que no se produce contaminación térmica ni emisiones de CO₂ que favorezcan el efecto invernadero.

Geología:

Las células fotovoltaicas se fabrican con silicio, elemento obtenido de la arena, muy abundante en la Naturaleza y del que no se requieren cantidades significativas. Por lo tanto, en la fabricación de los paneles fotovoltaicos no se producen alteraciones en las características litológicas, topográficas o estructurales del terreno.

Suelo:

Al no producirse ni contaminantes, ni vertidos, ni movimientos de tierra, la incidencia sobre las características físico-químicas del suelo o su erosionabilidad es nula.

Aguas superficiales y subterráneas:

No se produce alteración de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos.

Flora y fauna:

La repercusión sobre la vegetación es nula y, al eliminarse los tendidos eléctricos, se evitan los posibles efectos perjudiciales para las aves.

Paisaje:

Los paneles solares tienen distintas posibilidades de integración, lo que hace que sean un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. Además, al tratarse de sistemas autónomos, no se altera el paisaje con postes y líneas eléctricas.

Ruidos:

El sistema fotovoltaico es absolutamente silencioso, lo que representa una clara ventaja frente a los generadores de motor en viviendas aisladas.

Medio social:

El suelo necesario para instalar un sistema fotovoltaico de dimensión media, no representa una cantidad significativa como para producir un grave impacto. Además, en gran parte de los casos, se pueden integrar en los tejados de las viviendas.

Por otra parte, la energía solar fotovoltaica representa la mejor solución para aquellos lugares a los que se quiere dotar de energía eléctrica preservando las condiciones del entorno; como es el caso por ejemplo de los Espacios Naturales Protegidos.

XI. Diseño del sistema Fotovoltaico propuesto

El promedio anual de incidencia solar en Nicaragua está entre 4.5 y 5.5 Kwh / m² por día (mapa de energía solar incidente diaria – SWERA -UNEP).

Sin embargo durante los meses de febrero, mayo y agosto esta incidencia podría fluctuar entre 4.5 y 5 Kwh / m². Por lo tanto trabajaremos con el valor mínimo de 4.5

Kwh / m2 / día, para asegurar que durante los meses indicados el sistema fotovoltaico pueda siempre cubrir el total de la demanda.

1.1 Dimensionamiento del Sistema

Cálculos del Proyecto

a) Energía Consumida

Ítem	Tipo de Consumo	Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Horas de uso al día	Energía (Wh/día)
		Bujía Fluorescente	8	14	6	672
		Abanico 12"	1	76	2	152
		radio de 100w	1	100	3	300
		Tv a color 14"	1	100	6	600
Energía Total					Wh/día	1388
					Kwh/día	5,35

b) Cálculo del Arreglo Solar

$$M = \frac{E_c F_s}{I_M V_M H_p N_{Bat} N_{Inv}}$$

M = Número de módulos solares

Ec = Energía consumida diariamente por las cargas (Whr/día)

Fs = Factor de sobre dimensionamiento del Sistema (Se sobre dimensiona 10% a 20% Fs = 1.1 a 1.2).

Im = Corriente del módulo solar (máxima insolación 1Kw/m2)

Vm = Voltaje promedio de operación del módulo solar (No confundirlo con el voltaje de baterías).

Hp = Radiación de la localidad en el mes de menor insolación expresada en horas máximas de insolación.

$N_{Inv.}$ = Eficiencia del inversor CD/CA en caso de que el equipo opere en:

C.A. valores típicos 0.8 a 0.9

C.D. valor es de 1

N_{Bat} = Eficiencia de carga de la batería 0.87 a 0.9 “0.81”

$$M = \frac{E_c F_s}{I_M V_M H_p N_{Bat} N_{Inv}}$$

$$M = \frac{\left(\frac{1388 \text{Whr}}{\text{dia}}\right)(1.2)}{(6.93 \text{Amp})(28.9 \text{V})(4.84)(0.81)(0.9)}$$

M= 2.35 ≈ 3 Paneles

Por lo tanto se utilizarán 3 paneles de 150 Wp, con una tensión de 28.9V y una corriente de 6.93Amp.

Tipo	Paneles Disponibles		Costo US	No de Paneles	US a invertir
	Potencia (Wp)				
Modulo solar sunlink	150		220	3	660

c) Cálculo del ángulo de inclinación y del ángulo de orientación

El ángulo de inclinación de los paneles fotovoltaicos, lo que se recomienda es que se utilice el valor de la latitud del lugar donde se encuentra localizado el proyecto al cual se le suma 5°

$$\angle_{INC} = \angle_{LAT} + 5^{\circ}$$

Por lo tanto asumiendo que el ángulo de inclinación en el que se deben de colocar los paneles solares orientados hacia el sur es de 25°

d) Cálculo del Banco de Baterías

$$C_B = \frac{A_U E_C}{V_B F_U F_1 N_{INV}}$$

C_B = Capacidad del banco de baterías

E_C = Energía consumida diariamente

A_U = Autonomía deseada en el banco de baterías (días) varía entre 4 días con buena insolación y hasta 6 días para lugares nublados.

V_B = Voltaje nominal al cual trabajará el banco de baterías.

F_U = Fracción de la capacidad total de la batería que se usa para dar la autonomía de diseño del sistema evitando que las baterías se descarguen totalmente.

F_U = 0.5 baterías de placa delgada

F_U = 0.8 baterías de placa gruesa

F_1 = Factor de incremento de la capacidad de la batería respecto a su valor Nominal comercial como resultado de una razón (tiempo) de descarga.

Este valor varía desde 1.05 en baterías de placa delgada hasta 1.35 en baterías de placa gruesa tipo tabular.

$$C_B = \frac{A_U E_C}{V_B F_U F_1 N_{INV}}$$

$$M = \frac{(5 \text{ dias})(1388 \text{Whr})}{(12V)(0.8)(1.35)(0.9)}$$

$$C_B = (6940) / (11.664) = 594.99 \text{ Amp-hr}$$

d) Cálculo del Número de Baterías

$$N_B = \frac{C_R}{C_B}$$

N_B = Número de baterías que se necesitan

C_R = Capacidad de energía requerida para funcionar en días nublados (Ah)

C_B = Capacidad de la batería (Ah)

$$N_B = \frac{C_R}{C_B}$$

$$N_B = (594.99 \text{ Ah}) / (150 \text{ Ah}) = 3.96$$

Otro método

Potencia en baterías = (AUT x Ed) / (Rend x Descarga
Nro de Baterías = Tamaño (wh) / (Ah x V)

Dónde:

AUT	Autonomía (días sin brillo solar)	2
Ed	Consumo de electricidad (kwh/día)	1,39
Rend	Eficiencia de la Batería	80%
Descarga	Descarga máxima de la Batería	50%
Ah	Capacidad total de la Batería	150
V	Voltaje de la Batería	12

Potencia en Baterías	6.94	Wh
Nro. Baterías	3,86	Unidades

e) Cálculo del Controlador de Carga

$$I_{\max} = I_{SC} \times N_p$$

$$I_{\max} = (7.68A) \times (3 \text{ paneles})$$

$$I_{\max} = 23.04 \text{ A}$$

f) Especificación del Inversor

$$\text{INV} = W1 + W2 + W3 + W4$$

$$\text{INV} = \text{Potencia del Inversor (W)}$$

$$W = \text{Potencia de cada una de las cargas (W)}$$

$$\text{INV} = W1 + W2 + W3 + W4 + W5 + W6$$

$$\text{INV} = 14 \times (4) + 76 + 100 + 100$$

$$\text{INV} = 332 \text{ w}$$

Con respecto al valor calculado se concluye que el tipo de inversor que se necesite es:

Un Inversor de 400 W, Onda Senoidal Modificada, 12VCD - 120VAC.

g) Cálculo el calibre de los conductores de la instalación fotovoltaica

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

A= Es el área del conductor

ρ = Resistividad del cobre $0.01785 \Omega \text{mm}^2/\text{m}^2$

I = Corriente del conductor

l = Longitud del conductor

ΔE = Caída de tensión (V)

e% = Caída de tensión (%) no mayor del 3%

V = Tensión (V)

0.85 = Factor de ajuste para conductores expuestos a la radiación solar.

- **Entre el panel y el controlador de carga**

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

Cálculo del ΔE

$$\Delta E = V_e \% / 100\%$$

$$\Delta E = (28.9) \times (3\%) / 100\%$$

$$\Delta E = 0.867$$

Sustituimos ΔE en la ecuación 1

$$A = 2(0.01785) (6.93) (3) (0.85) (10) / (0.867 \text{ V})$$

$$A = 7.27 \text{ mm}^2$$

El calibre del conductor THW que le corresponde es del 6 AWG.

- **Entre el controlador de carga y las baterías**

$$\Delta E = V_e \% / 100\%$$

$$\Delta E = (28.9) \times (1\%) / 100\%$$

$$\Delta E = 0.289 \text{ V}$$

$$A = 2\rho l / \Delta E$$

$$A = 6.54 \text{ mm}^2 \text{ Por lo tanto el calibre del conductor THW es del 8 AWG}$$

- **Entre el controlador de carga y el inversor**

$$\Delta E = V_e \% / 100\%$$

$$\Delta E = (28.9) \times (1\%) / 100\%$$

$$\Delta E = 0.289 \text{ V}$$

$$A = 2\rho\ell/\Delta E$$

$$A = 2 (0.01785) (6.93) (3) (0.85) (3) / (0.289)$$

$A = 6.54 \text{ mm}^2$ Por lo tanto el calibre del conductor THW es del 8 AWG

- **Entre el inversor y el Interruptor termomagnético**

$$I = P / V \cos \theta$$

$$I = 400\text{w} / (220) (0.95)$$

$I = 2 \text{ Amp}$ Por lo tanto el calibre del conductor THW es del 12 AWG

$$e\% = 2P\ell / \rho VS$$

$e\%$ = caída de tensión %

P = Potencia total considerada (W)

ℓ = longitud de la línea (m)

V = Tensión nominal (220 v)

S = sección en m^2

σ = Resistividad del conductor ($0.01785 \Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$)

ρ = conductividad del cobre

$$\rho = 1/\sigma = 1/0.01785 = 56$$

$$e\% = 2Pl / \rho VS$$

Despejando "S" nos queda de la siguiente fórmula.

$$S = 2Pl / \rho Ve\%$$

$$S = (2)(800W)(3) / (56)(220)^2 (0.5) =$$

$$S = 0.35 \text{ mm}^2$$

Por normas se considera que se use del 12 AWG.

$$\Delta E = Ve\% / 100\%$$

$$\Delta E = (220)(0.5\%) / 100\%$$

$$\Delta E = 1.1 \text{ V}$$

$$A = 2pl/\Delta E$$

$$A = 2(0.01785)(3.03A)(3) / 1.1$$

$$A = 0.29 \text{ mm}$$

Ambos cálculos el calibre del conductor es el mismo que es del calibre 12 AWG.

XII. Evaluación de costo del proyecto

En este capítulo se presentan los costos de cada uno de los elementos que constituyen un sistema fotovoltaico, (panel solar, baterías, inversor y controlador de carga) a través de diferentes proveedores que venden este tipo de equipo.

Panel Solar

Panel solar CSI (Canadian Solar Inc.) de 200W para aplicaciones de mayor tamaño principalmente interconectadas a la red eléctrica. El módulo Serie CS6P es robusto con 60 celdas. Estos módulos pueden ser utilizados para energía solar en aplicaciones de la red. Nuestro meticuloso diseño y técnicas de producción garantizan un alto rendimiento a largo plazo de cada módulo producido. Nuestro riguroso control de calidad y las pruebas en nuestras instalaciones de Canadian Solar garantizan los más altos estándares de calidad posible

Características:

Marco fuerte, pasando la prueba de carga mecánica 5400Pa, en lugar de las normales 2400Pa, para soportar la carga más pesada de nieve y vientos superiores

- Líderes en la industria de energía tolerancia: $\pm 5 \text{ W}$ ($\pm 2,5\%$)
- 25 años de garantía de rendimiento
- El primer fabricante en la industria de fotovoltaica en la aplicación de la norma ISO TS 16949 (Sistemas de Administración de Calidad Automotriz) en la producción de módulos.

La batería CA-LE SOLAR es libre de mantenimiento para aplicaciones de ciclo profundo. Diseñadas específicamente para aplicaciones de almacenamiento de energía.

Información general

La orientación de la batería es hacia arriba. Las baterías pueden ser conectadas en serie y paralelo para obtener el voltaje y la intensidad de los requerimientos de descarga.

El ciclo de vida depende de los parámetros de carga. (CA-LE puede proporcionar asistencia). La carga de igualación puede ser necesaria en intervalos mensuales si la intensidad de descarga es mayor que el 40 %. Las baterías deben ser protegidas del calor excesivo.

Características:

- Plomo calcio en parrilla positiva y negativa.
- Placas 13 % más gruesas que dan una mejor resistencia al ciclado.
- Pasta positiva de alta densidad para alargar la durabilidad.
- Parrillas de metal expandido 11 % más gruesas, forjadas en frío.
- Placas encapsuladas con separador de polietileno.
- 430 cc de reserva de electrolito por celda.
- Caja y tapa de polipropileno de alto impacto.
- Arrestador de flama para seguridad.
- Terminales roscadas de 3/8" de acero inoxidable.

Especificaciones de la batería

- Voltaje nominal: 12 V

-
- Largo: 330.2 mm (13.0")
 - Ancho: 172 mm (6.8")
 - Altura: 217.8 mm (8.6")
 - Altura total: 240.3 mm (9.5")
 - Peso: 27.3 Kg. (60.2 lbs)
 - Capacidad: 115 AH a 100 horas de descarga
 - Número de Placas: 17

Parámetros del controlador de carga

- Fijación del punto de regularización (VR) 14.5 V +/- .2
- El voltaje máximo que el controlador permite alcanzar a la batería.
- Histéresis de regularización (VHR) 13.5 V
- Capacidad: 800 W

Gabinete de plástico profesional para 1 batería, resistente a la corrosión, con salidas de ventilación, salida de cableado, cinto de seguridad, contención de derrames y agarraderas. Garantía de 10 años.

Inversor de corriente de 800 watts de potencia continua y 1.500 watts máximo instantáneo. Cuenta con botón de encendido, luces indicadoras de encendido y falla y cables de conexión a batería. El inversor HP 600 tiene una corriente en espera baja (menor a 0.5 amperes) que ahorra energía al estar en vacío, así como una eficiencia superior al 85 % permitiendo obtener el máximo rendimiento de energía de su sistema.

El inversor HP 800 cuenta también con alarma audible de advertencia de batería baja, sobre temperatura y sobrecarga. Se pueden conectar los siguientes aparatos al inversor HP 600 o cualquier otro que sea de un rango de potencia de hasta 600 watts.

Datos técnicos de HP600-TD-MEX-0510

Potencia de salida 600 W de potencia continua/1,500 W de potencia máxima

Corriente en espera < 0,5 A @12 VDC

Voltaje de entrada 10V~15 VDC

Voltaje de salida 120 VCA

Forma de onda de salida Onda sinusoidal modificada en ancho de pulso

Eficiencia Superior al 85 %

Autorevisión de encendido Función que autodetecta algún error en batería

Regulación de voltaje de salida ± 5 % AVR Inteligente

Frecuencia de salida 60 Hz Controlado por cristal

Enfriamiento Ventilador con operación automática

Protecciones:

Salida Protección de cortocircuito a la salida

Batería baja < 10.5 V \pm 0.5 V (pre-alarma), < 9.5 V \pm 0.5 V (alarma de apagado)

Sobretensión > 60 °C con pre-alarma, > 65 °C Apagado con alarma

Sobrecarga > 650 W (pre-alarma), > 700 W Apagado con alarma

Protección contra inversión de polaridad Mediante fusible

Fusible 12 VDC: 25A x 3 Piezas.

Contacto de salida de CA 2 contactos

Dimensiones (L x A x A) 190 x 113 x 62 mm

Peso neto 1.5 kg

El regulador solar de rango medio ProStar de Morningstar ha demostrado, a lo largo de los años, ser un producto muy conveniente para aplicaciones domésticas y profesionales

Características del producto

Versiones disponibles: 15 o 30 A 12/24 V, o 15 A 48 V

Tensión de regulación 14.15 V

Vida útil estimada de 15 años

Carga de la batería por PWM (modulación de la anchura del pulso)

Compensación de temperatura

Selección de batería: gel, sellada o de plomo ácido

Control y medición de alta precisión

Jumper para eliminar el ruido de telecomunicación

Conexión en paralelo hasta 300 A

Cables de conexión

Los cables de conexión para instalar el sistema fotovoltaico son del TIPO THW y TW.

Cable THW del calibre 8 de 100m

Cable TW del calibre 12 de 100m

Interruptor Termo magnético

Switch para fusibles 30A

Selección de cables

Conexión	Potencia Max a conducir (Watts)	Tensión (Volts)	Corriente (Amp)	Amp	sec mm2
Del panel al controlador	1388	24	57.83	60	13.3
De la batería al controlador	56	24	2.33	3	2.08
De la batería al Inversor	276	24	11.50	12	3.31
Del controlador al tablero	56	24	2.33	3	3.31
Del inversor al tablero	276	220	1.25	2	2.08

Presupuesto del Proyecto

3 paneles Sunlink 150 Watt PV Module BP Solar ,en arreglo serie-paralelo	660
4 baterías Trojan J150, en arreglo serie-paralelo	320
Controlador Trace C60 -24V	20
Inversor 24 DC -220 AC / 60HZ / 500W	50
20 mts cable bipolar flexible de 16 mm2 de sección (incluye conexiones entre baterías y entre paneles)	20
10 mts cable bipolar flexible de 4 mm2 de sección)	15
20 mts cable bipolar flexible de 1.5 mm2 de sección	20
Servicio de mano de obra de Instalación	250
	1355

El monto del proyecto asciende a los \$ 1,355 dólares

XIII. Conclusiones

Se logró describir que es un sistema fotovoltaico y sus componentes básicos para el diseño de una red eléctrica aislada, específicamente viviendas de bajo consumo rural.

Por lo tanto fue necesario aplicar una metodología que permitió llevar a cabo la propuesta del sistema solar de bajo consumo para uso domiciliario fuera del SIN.

Mediante la propuesta se logró elaborar un estudio de cálculos tanto de equipos consumidores como de los equipos necesarios para la generación en base a la demanda en Kwh domiciliario.

Para finalizar se realizó un estudio para demostrar la viabilidad del sistema fotovoltaico como una opción energética alternativa la cual no supera los \$1355 dólares de inversión por vivienda.

El período de recuperación se estima en 10 años aproximadamente, esto significa a corto plazo una rentabilidad enorme si consideramos que estamos ahorrando y energía pero además contribuimos a la reducción del calentamiento global.

Para finalizar podemos decir que el camino de las energías renovables está en marcha y es aceptado por la sociedad debido a las múltiples ventajas que tiene y que es consecuencia del cambio climático de la emisión de los gases combustibles que gran parte de ellos provenientes de la generación de energía, es lógico suponer que el sector fotovoltaico experimentará un gran impulso en los próximos años, con el consiguiente beneficio ecológico y al mismo tiempo abrirá un gran abanico de posibilidades a la industria fotovoltaica y a los inversionistas públicos o privados que apuesten por esta tecnología.

XIV. Bibliografía

1. Méndez M. J. María y Cuervo G. R. (2007). Energía Solar Fotovoltaica. 3ra Edición. ECA Instituto de Tecnología y Formación S.A.U. España
2. Héctor Gasquet. Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos. SOLARTRONIC S.A de CV. Morelos México
3. Nassir Sapag Chain . Preparación y Evaluación de Proyectos 2da Edición.
4. Roberto Hernández Sampieri. Metodología de la Investigación. Editorial, MCGRAW HILL.
5. Jutglar L. (2011) Energía solar “Energías Alternativas y Medio Ambiente” Editorial CEAC España
6. Sánchez M. A., (2010), Energía Solar Térmica, 1ra. Edición. Editorial Limusa. México.
7. GARG, H. P. «Treatise on Solar Energy». Fundamentals of Solar Energy. Vol. 1: John Wiley & Sons, 1982.
8. 2. DUFFIE, J. A. Y W. A. BECKMAN. Solar energy thermal processes. Madrid: Ed. Pergamon Press, 1996.
9. MANUAL TEÓRICO PRÁCTICO SOBRE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, HECTOR L. GASQUET, octubre del 2004.